

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001313421 A**

(43) Date of publication of application: **09.11.01**

(51) Int. Cl. **H01L 33/00**

(21) Application number: **2001040179**

(22) Date of filing: **16.02.01**

(30) Priority: **21.02.00 JP 2000042669**

(71) Applicant: **SANKEN ELECTRIC CO LTD**

(72) Inventor:
MOKU TETSUJI
OTSUKA KOJI
YANAGIHARA MASAKI
KIKUCHI MASAACKI

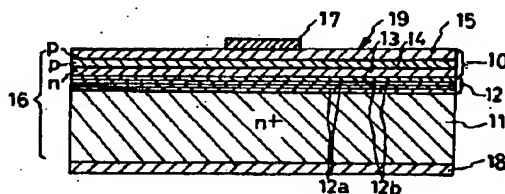
**(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT
AND ITS MANUFACTURING METHOD**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such a problem that it is difficult to lower the cost of a semiconductor light-emitting element of which power consumption and operating voltage are low.

SOLUTION: A buffer layer 12 of a composite layer structure, where a plurality of first layers 12a composed of AlN and second layers 12b composed of GaN are laminated on a substrate 11 composed of low-resistance silicon, is installed. An n-type semiconductor region 13 composed of gallium nitride, an active layer 14 made of gallium indium nitride and a p-type semiconductor region 15 composed of gallium nitride are formed sequentially on the buffer layer 12. An anode electrode 17 is provided on the region 15, and a cathode electrode 18 is provided on the substrate 11.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



7-235

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-313421

(P2001-313421A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001. 11. 9)

(51) Int.Cl.
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

テ-マコ-ト* (参考)
C 5 F 0 4 1
E

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-40179 (P2001-40179)

(22) 出願日 平成13年2月16日 (2001. 2. 16)

(31) 優先権主張番号 特願2000-42669 (P2000-42669)

(32) 優先日 平成12年2月21日 (2000. 2. 21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000106276

サンケン電気株式会社

埼玉県新座市北野3丁目6番3号

(72) 発明者 辻 哲次

埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ

ン電気株式会社内

(72) 発明者 大塚 康二

埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ

ン電気株式会社内

(74) 代理人 100072154

弁理士 高野 則次

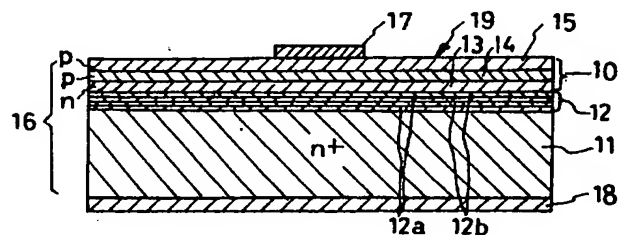
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 消費電力及び動作電圧の低い半導体発光素子の低コスト化が困難であった。

【解決手段】 低抵抗のシリコンから成る基板11の上にAlNから成る第1の層12aとGaNから成る第2の層12bとを交互に複数積層した複合層構造のバッファ層12を設ける。バッファ層12の上に窒化ガリウムから成るn形半導体領域13、窒化ガリウムインジウムからなる活性層14、窒化ガリウムから成るp形半導体領域15を順次に形成する。p形半導体領域15の上にアノード電極17を設け、基板11にカソード電極18を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化ガリウム系化合物半導体を有する半導体発光素子であって、

不純物を含むシリコン又はシリコン化合物から成り、且つ低い抵抗率を有している基板(11)と、

前記基板(11)の一方の主面上に配置され、 $Al_xGa_{1-x}N$ (但し、 x は $0 < x \leq 1$ を満足する数値である。)から成る第1の層と GaN 又は $Al_yGa_{1-y}N$ (但し、 y は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。)から成る第2の層との複合層から成っているバッファ層(12)と、

発光機能を得るために前記バッファ層(12)の上に配置された複数の窒化ガリウム系化合物層を含んでいる半導体領域(10)と、

前記半導体領域(10)の表面上の一部に配置された第1の電極(17)と、

前記基板(11)の他方の主面に配置された第2の電極(18)とを備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 前記半導体領域(10)は、前記バッファ層(12)の上に配置された窒化ガリウム系化合物から成る第1の導電形の第1の半導体領域(13)と、

前記第1の半導体領域(13)の上に配置された活性層(14)と、

前記活性層(14)の上に配置された窒化ガリウム系化合物から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体領域(15)とを備えていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記バッファ層(12)は、 $Al_xGa_{1-x}N$ から成る複数の第1の層(12a)と、 GaN 層又は $Al_yGa_{1-y}N$ から成る複数の第2の層(12b)とを有し、前記第1の層(12a)と前記第2の層(12b)とが交互に積層されていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記バッファ層(12)における前記複数の第1の層(12a)のそれぞれの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu m \sim 100 \times 10^{-4} \mu m$ 、及び前記複数の第2の層(12b)のそれぞれの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu m \sim 2000 \times 10^{-4} \mu m$ であることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項5】 窒化ガリウム系化合物半導体を有する半導体発光素子の製造方法であって、

不純物を含み且つ低い抵抗率を有しているシリコン単結晶から成る基板(11)を用意する工程と、

前記基板(11)上に、気相成長法によって $Al_xGa_{1-x}N$ (但し、 x は $0 < x \leq 1$ を満足する数値である。)から成る第1の層(12a)と GaN 又は $Al_yGa_{1-y}N$ (但し y は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。)から成る第2の層(12b)とを交互に形成してバ

ッファ層(12)を得る工程と、

前記バッファ層(12)上に、発光機能を得るための複数の窒化ガリウム系化合物層から成る半導体領域(10)を気相成長法で形成する工程と、

前記半導体領域(10)の表面上の一部に第1の電極(17)を形成し、前記基板(11)の他方の主面に第2の電極(18)を形成する工程とを有していることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 GaN (窒化ガリウム)、 $GaAlN$ (窒化ガリウム アルミニウム)、 $InGaN$ (窒化インジウム ガリウム)、 $InGaAlN$ (窒化インジウム ガリウム アルミニウム)等の窒化ガリウム系化合物半導体を用いた例えば青色発光ダイオード等の半導体発光素子は公知である。従来の典型的な発光素子は、サファイアから成る絶縁性基板、この絶縁性基板の一方の主面(上面)に形成された例えば日本の特開平4-297023号公報に開示されて $Ga_{1-x}Al_xN$ (但し、 x は $0 < x \leq 1$ の範囲の数値である。)から成るバッファ層、このバッファ層の上にエピタキシャル成長によって形成された窒化ガリウム系化合物半導体(例えば GaN)から成るn形半導体領域、このn形半導体領域の上にエピタキシャル成長法によって形成された窒化ガリウム系化合物半導体(例えば $InGaN$)から成る活性層、及びこの活性層の上にエピタキシャル成長法によって形成されたp形半導体領域を備えている。カソード電極はn形半導体領域に接続され、アノード電極はp形半導体領域に接続されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、発光素子は、周知のように多数の素子の作り込まれたウエハをダイシング、スクライピング、劈開(cleavage)等によって切り出して製作される。この時、サファイアから成る絶縁性基板は硬度が高いため、このダイシングを良好に且つ生産性良く行うことが困難であった。また、サファイアは高価であるため、発光素子のコストが高くなった。また、サファイアから成る基板は絶縁体であるため、カソード電極を基板に形成することができなかった。このため、n形半導体領域の一部を露出させ、ここにカソード電極を接続することが必要になり、半導体基体の面積即ちチップ面積が比較的大きくなり、その分発光素子のコストが高くなった。また、サファイア基板を使用した従来の発光素子では、n形半導体領域の垂直方向のみならず、水平方向即ちサファイア基板の主面に沿う方向にも電流が流れる。このn形半導体領域の水平方

向の電流が流れる部分の厚みは4～5 μm 程度と極めて薄いため、n形半導体領域の水平方向の電流通路の抵抗はかなり大きなものとなり、消費電力及び動作電圧の増大を招いた。更に、このn形半導体領域のカソード電極の接続部分を露出させるために活性層及びp形半導体領域をエッチングによって削り取ることが必要になり、エッチングの精度を考慮してn形半導体領域は予め若干肉厚に形成しておく必要があった。このためn形半導体領域のエピタキシャル成長の時間が長くなり、生産性が低かった。また、サファイア基板の代りにシリコンカーバイド(SiC)から成る導電性基板を用いた発光素子が知られている。この発光素子においては、カソード電極を導電性基板の下面に形成できる。このため、サファイア基板を使用した発光素子に比べて、SiC基板を使用した発光素子は、チップ面積の縮小が図られること、劈開によりウエハの分離が簡単化する等の利点はある。しかし、SiCはサファイアよりも一段と高価であるため発光素子の低コスト化が困難である。また、SiC基板の上にn形半導体領域を低抵抗接触させることが困難であり、この発光素子の消費電力及び動作電圧がサファイア基板を使用した発光素子と同様に比較的高くなった。

【0004】そこで、本発明の目的は、生産性及び性能の向上及びコストの低減を図ることができる半導体発光素子及びその製造方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し、上記目的を達成するための本発明を、実施形態を示す図面の符号を参照して説明する。なお、ここでの参照符号は、本願発明の理解を助けるために付されており、本願発明を限定するものではない。本発明に従う窒化ガリウム系化合物半導体を有する半導体発光素子は、不純物を含むシリコン又はシリコン化合物から成り、且つ低い抵抗率を有している基板(11)と、前記基板(11)の一方の主面上に配置され、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し x は $0 < x \leq 1$ を満足する数値である。)から成る第1の層と GaN 又は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ (但し、 y は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。)から成る第2の層との複合層から成っているバッファ層(12)と、発光機能を得るために前記バッファ層(12)の上に配置された複数の窒化ガリウム系化合物層を含んでいる半導体領域(10)と、前記半導体領域(10)の表面上の一部に配置された第1の電極(17)と、前記基板(11)の他方の主面に配置された第2の電極(18)とを備えている。

【0006】なお、請求項2に示すように、前記半導体領域(10)は、前記バッファ層(12)の上に配置された窒化ガリウム系化合物から成る第1の導電形の第1の半導体領域(13)と、前記第1の半導体領域(13)の上に配置された活性層(14)と、前記活性層(14)の上に配置された窒化ガリウム系化合物から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体領

域(15)とを備えていることが望ましい。また、請求項3に示すように、前記バッファ層(12)は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成る複数の第1の層(12a)と、 GaN 層又は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ から成る複数の第2の層(12b)とを有し、前記第1の層(12a)と前記第2の層(12b)とが交互に積層されていることが望ましい。また、請求項4に示すように、前記バッファ層(12)における前記複数の第1の層(12a)のそれぞれの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 1.00 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 、及び前記複数の第2の層(12b)のそれぞれの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 2.000 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ であることが望ましい。また、請求項5に示すように、不純物を含み且つ低い抵抗率を有しているシリコン単結晶から成る基板(11)を用意する工程と、前記基板(11)上に、気相成長法によって $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 x は $0 < x \leq 1$ を満足する数値である。)から成る第1の層(12a)と GaN 又は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ (但し y は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。)から成る第2の層(12b)とを交互に形成してバッファ層(12)を得る工程と、前記バッファ層(12)上に発光機能を得るための複数の窒化ガリウム系化合物層から成る半導体領域(10)を気相成長法で形成する工程と、前記半導体領域(10)の表面上の一部に第1の電極(17)を形成し、前記基板(11)の他方の主面に第2の電極(18)を形成する工程とを有して半導体発光素子を製造することが望ましい。

【0007】

【発明の効果】各請求項の発明は次の効果を有する。

(1) 基板が比較的安価なシリコン又はシリコン化合物であるので、発光素子のコストを低減させることができる。

(2) $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成る第1の層と GaN 又は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ から成る第2の層との複合層から成るバッファ層は、この上に形成する窒化ガリウム系化合物の結晶性及び平坦性の改善に寄与する。従って、安価な基板を使用しているにも拘らず、良好な発光特性即ち発光効率を有する発光素子を提供することができる。

(3) バッファ層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成る第1の層と GaN 又は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ から成る第2の層との複合層であるので、このバッファ層の熱膨張係数はシリコン又はこの化合物から成る基板の熱膨張係数と GaN 系化合物から成る半導体領域の熱膨張係数との中間の値を有し、基板と半導体領域との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制することができる。

(4) 第1及び第2の電極は互いに対向するように配置されているので、電流経路の抵抗値を下げて消費電力及び動作電圧を小さくすることができる。

(5) 第2の電極は基板に接続されているので、この形成作業が容易になる。また、請求項2の発明によれば、発光特性の良い素子を提供できる。また、請求項3の発明によれば、シリコンとの格子定数の差が比較的小

さいAl, Ga-, Nから成る第1の層が基板上に配置され且つこれがGa N又はAl, Ga-, Nから成る第2の層の相互間にも配置されるので、バッファ層の平坦性が良くなり、半導体領域の結晶性も良くなる。また、請求項4の発明によれば、バッファ層の第1の層が量子力学的なトンネル効果を生じる厚みに設定されているので、バッファ層の抵抗値の増大を抑えて消費電力及び動作電圧を低くすることができる。また、請求項5の発明によれば、特性の良い半導体発光素子を安価且つ容易に形成することができる。

【0008】

【実施形態】次に、図1及び図2を参照して本発明の実施形態に係わる半導体発光素子としての窒化ガリウム系化合物青色発光ダイオードを説明する。

【0009】図1及び図2に示す本発明の実施形態に従う青色発光ダイオードは、発光機能を得るための複数の窒化ガリウム系化合物層から成る半導体領域10と、結晶面(111)を有するシリコン半導体から成る基板11と、バッファ層12とを有している。発光機能を有する半導体領域10は、Ga N(窒化ガリウム)から成る第1の半導体領域としてのn形半導体領域13、p形のIn Ga N(窒化インジウム ガリウム)から成る発光層即ち活性層14、及び第2の半導体領域としてのGa N(窒化ガリウム)から成るp形半導体領域15とから成る。基板11とバッファ層12と発光機能を有する半導体領域10との積層体から成る基体16の一方の主面(上面)即ちp形半導体領域15の表面上に第1の電極としてのアノード電極17が配置され、この基体16の他方の主面(下面)即ち基板11の他方の主面に第2の電極としてのカソード電極18が配置されている。バッファ層12、n形半導体領域13、活性層14、及びp形半導体領域15は、基板11の上に順次にそれぞれの結晶方位を揃えてエピタキシャル成長させたものである。

【0010】基板11は、導電形決定不純物を含むシリコン単結晶から成る。この基板11の不純物濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、この基板11の抵抗率は $0.0001 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度である。この実施形態の基板11はAs(砒素)が導入されたn形シリコンから成る。抵抗率が比較的低い基板11はアノード電極17とカソード電極18との間の電流通路として機能する。また、基板11は、比較的厚い約 $350 \mu\text{m}$ の厚みを有し、p形半導体領域15、活性層14及びn形半導体領域13から成る発光機能を有する半導体領域10及びバッファ層12の支持体として機能する。

【0011】基板11の一方の主面全体を被覆するように配置されたバッファ層12は、複数の第1の層12aと複数の第2の層12bとが交互に積層された複合層から成る。図1及び図2では、図示の都合上、バッファ層

12が2つの第1の層12aと2つの第2の層12bとで示されているが、実際には、バッファ層12は、50個の第1の層12aと50個の第2の層12bとを有する。第1の層12aは、化学式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 x は $0 < x \leq 1$ を満足する任意の数値である。)で示すことができる材料で形成される。即ち、第1の層12aは、Al N(窒化アルミニウム)又はAl Ga N(窒化アルミニウム ガリウム)で形成される。図1及び図2の実施形態では、前記式の x が1とされた材料に相当するAl N(窒化アルミニウム)が第1の層12aに使用されている。第1の層12aは、絶縁性を有する極薄い膜である。第2の層12bは、Ga N(窒化ガリウム)又は化学式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ (但し、 y は、 $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する任意の数値である。)で示すことができる材料から成るn形半導体の極く薄い膜である。第2の層12bとして $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ から成るn形半導体を使用する場合には、第2の層12bの電気抵抗の増大を抑えるために、 y を $0 < y < 0.8$ を満足する値即ち0よりも大きく且つ0.8よりも小さくすることが望ましい。バッファ層12の第1の層12aの厚みは、好ましくは $5 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 100 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち $5 \sim 100$ オングストローム、より好ましくは $10 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 80 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ である。第1の層12aの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 未満の場合にはバッファ層12の上面に形成されるn形半導体領域13の平坦性が良好に保てなくなる。第1の層12aの厚みが $100 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ を超えると、量子力学的トンネル効果を良好に得ることができなくなり、バッファ層12の電気的抵抗が増大する。第2の層12bの厚みは、好ましくは $5 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 2000 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち $5 \sim 2000$ オングストロームであり、より好ましくは $10 \times 10^{-4} \mu\text{m} \sim 300 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ である。第2の層12bの厚みが $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち5オングストローム未満の場合には、第2の層12bの上に形成される一方の第1の層11aと第2の層12bの下に形成される他方の第1の層11aとの間の電気的接続が良好に達成されず、バッファ層12の電気的抵抗が増大する。第2の層12bの厚みが $2000 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち2000オングストロームを超えた場合には、n形半導体領域13の平坦性が良好に保てなくなる。図1及び図2の実施形態では、第1の層12a及び第2の層12bの厚みがそれぞれ $50 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち50オングストロームであり、バッファ層12の全体の厚みが $5000 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち5000オングストロームである。

【0012】次に、第1の層12aがAl N、第2の層がGa Nとされた半導体発光素子の製造方法を説明する。図1及び図2に示す1実施形態のバッファ層12は、周知のMOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)即ち有機金属化学気相成長法によってAl Nから成る第1の層12aとGa Nから成る第2

の層12bとを繰返して積層することによって形成される。即ち、シリコン単結晶の基板11をMOCVD装置の反応室内に配置し、まず、サーマルアニーリングを施して表面の酸化膜を除去する。次に、反応室内にTMA（トリメチルアルミニウム）ガスとNH₃（アンモニア）ガスを約27秒間供給して、基板11の一方の主面に厚さ約 $50 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち約50オングストロームのAlN層から成る第1の層12aを形成する。本実施例では基板11の加熱温度を1120℃とした後に、TMAガスの流量即ちAlの供給量を約 $63 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、NH₃ガスの流量即ちNH₃の供給量を約 $0.14 \text{ mol}/\text{分}$ とした。続いて、基板11の加熱温度を1120℃とし、TMAガスの供給を止めてから反応室内にTMG（トリメチルガリウム）ガスとNH₃（アンモニア）ガスとSiH₄（シラン）ガスを約15秒間供給して、基板11の一方の主面に形成された上記AlNから成る第1の層12aの上面に、厚さ約 $50 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち50オングストロームのn形のGaNから成る第2の層12bを形成する。ここで、SiH₄ガスは形成膜中にn形不純物としてのSiを導入するためのものである。本実施例では、TMGガスの流量即ちGaの供給量を約 $63 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、NH₃ガスの流量即ちNH₃の供給量を約 $0.14 \text{ mol}/\text{分}$ 、SiH₄ガスの流量即ちSiの供給量を約 $21 \text{ nmol}/\text{分}$ とした。本実施例では、上述のAlNから成る第1の層12aとGaNから成る第2の層12bの形成を50回繰返してAlNから成る第1の層12aとGaNから成る第2の層12bとが交互に100層積層されたバッファ層12を形成する。勿論AlNから成る第1の層12a、GaNから成る第2の層12bをそれぞれ25層等の任意の数に変えることもできる。

【0013】次に、バッファ層12の上面に周知のMOCVD法によってn形半導体領域13、活性層14及びp形半導体領域15を順次連続して形成する。即ち、上面にバッファ層12が形成された基板11をMOCVD装置の反応室内に配置して、反応室内にまずトリメチルガリウムガス即ちTMGガス、NH₃（アンモニア）ガス、SiH₄（シラン）ガスを供給してバッファ層12の上面にn形半導体領域13を形成する。ここで、シランガスはn形半導体領域13中にn形不純物としてのSiを導入するためのものである。本実施例ではバッファ層12が形成された基板11の加熱温度を1040℃とした後、TMGガスの流量即ちGaの供給量を約 $4.3 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、NH₃ガスの流量即ちNH₃の供給量を約 $53.6 \text{ mmol}/\text{分}$ 、シランガスの流量即ちSiの供給量を約 $1.5 \text{ nmol}/\text{分}$ とした。また、本実施例では、n形半導体領域13の厚みを約 $2 \mu\text{m}$ とした。従来の一般的発光ダイオードの場合には、n形半導体領域の厚みが約 $4.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ であるから、これに比べて図1の本実施例のn形半導体領域13はかなり肉薄に形成さ

れている。また、n形半導体領域13の不純物濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、基板11の不純物濃度よりは十分に低い。尚、本実施例によればバッファ層12が介在しているので、1040℃のような比較的高い温度でn形半導体層13を形成することが可能になる。

【0014】続いて、基板11の加熱温度を800℃とし、反応室内にTMGガス、アンモニアガスに加えてトリメチルインジウムガス（以下、TMIガスという）とビスシクロペンタジェニルマグネシウムガス（以下、Cp₂Mgガスという。）を供給してn形半導体領域13の上面にp形InGaN（窒化インジウム ガリウム）から成る活性層14を形成する。ここで、Cp₂Mgガスは活性層14中にp形導電形の不純物としてのMg（マグネシウム）を導入するためのものである。本実施例では、TMGガスの流量を約 $1.1 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、NH₃ガスの流量を約 $67 \text{ mmol}/\text{分}$ 、TMIガスの流量即ちInの供給量を約 $4.5 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、Cp₂Mgガスの流量即ちMgの供給量を約 $12 \text{ nmol}/\text{分}$ とした。また、活性層14の厚みは約 $20 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 即ち20オングストロームとした。なお、活性層14の不純物濃度は約 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0015】続いて、基板11の加熱温度を1040℃とし、反応室内にTMGガス、アンモニアガス及びCp₂Mgガスを供給して活性層14の上面にp形GaN（窒化ガリウム）から成るp形半導体領域15を形成する。本実施例では、この時のTMGガスの流量を約 $4.3 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、アンモニアガスの流量を約 $53.6 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、Cp₂Mgガスの流量を約 $0.12 \mu\text{mol}/\text{分}$ とした。また、p形半導体領域15の厚みは約 $0.5 \mu\text{m}$ とした。なお、p形半導体領域15の不純物濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0016】上記のMOCVD成長方法によれば、シリコン単結晶から成る基板11の結晶方位を良好に引き継いでいるバッファ層12を形成することができる。また、バッファ層12の結晶方位に対してn形半導体領域13、活性層14及びp形半導体領域15の結晶方位を揃えることができる。

【0017】第1の電極としてのアノード電極17は、例えばニッケルと金を周知の真空蒸着法等によって半導体基体16の上面即ちp形半導体領域15の上面に付着させることによって形成し、p形半導体領域15の表面に低抵抗接触させる。このアノード電極17は図2に示すように円形の平面形状を有しており、半導体基体16の上面のほぼ中央に配置されている。半導体基体16の上面のうち、アノード電極17の形成されていない領域19は、光取り出し領域として機能する。

【0018】第2の電極としてのカソード電極18は、n形半導体領域13に形成せず、例えばチタンとアルミニウムを周知の真空蒸着法等によって基板11の下面全体に形成する。

【0019】図1の青色発光ダイオードを外部装置に取付ける時には、例えばカソード電極18を回路基板等の外部電極に対して半田又は導電性接着剤で固着し、アノード電極17を周知のワイヤボンディング方法によって外部電極に対してワイヤで電氣的に接続する。

【0020】本実施例の青色発光ダイオードによれば、次の効果が得られる。

(1) サファイアに比べて著しく低コストであり且つ加工性も良いシリコンから成る基板11を使用することができるので、材料コスト及び生産コストの削減が可能である。このため、GaN系発光ダイオードのコスト低減が可能である。

(2) 基板11がシリコンであるので、基板11内に他の電子素子を形成することができ、GaN系半導体発光素子その他の半導体素子と同一の半導体基板内に集積された半導体集積回路を容易に実現できる。図3はシリコンから成る基板11にトランジスタ、ダイオード等の半導体素子20を形成した半導体装置を示す。半導体素子20は、素子分離用P形半導体領域21の中に配置されている。このように半導体発光素子を集積回路の一部とすれば、発光素子を含む回路装置の小型化及びコストの低減を図ることができる。なお、図3において図1と実質的に同一の部分には同一の符号が付されている。またEはエミッタ、Bはベース、Cはコレクタを示す。

(3) 発光特性が良好であり、且つ消費電力及び動作抵抗が小さい青色発光ダイオードを実現することができる。この作用効果を詳述すると、次のとおりである。

(3-1) 基板11の一方の主面に形成されたAlNから成る第1の層12a及びGaNから成る第2の層12bとの複合層から成るバッファ層12が、シリコンから成る基板11の結晶方位を良好に引き継ぐことができる。また、バッファ層12の一方の主面に、n形半導体領域13、活性層14及びp形半導体領域15からなるGaN系半導体領域10を結晶方位を揃えて良好に形成することができる。このため、GaN系半導体領域10の特性が良くなり、発光特性も良くなる。

(3-2) AlNから成る第1の層12a及びGaNから成る第2の層12bが複数積層されて成るバッファ層12を介して半導体領域10を形成すると、半導体領域10の平坦性が良くなる。即ち、シリコンから成る基板11の一方の主面に、もしGaN半導体層のみによって構成されたバッファ層を形成した場合、シリコンとGaNとは格子定数の差が大きいので、このバッファ層の上面に平坦性に優れたGaN系半導体領域を形成することはできない。一方、本実施例の青色発光ダイオードによれば、基板11とGaN系半導体領域10との間にシリコンとの格子定数差が比較的小さいAlNから成る第1の層12aとGaNから成る第2の層12bとの複合層からなるバッファ層12が介在しているため、GaN系半導体領域10の平坦性が良くなる。このように、GaN

N系半導体領域10の平坦性が良くなると、発光特性も良くなる。

(3-3) アノード電極17とカソード電極18との間に、アノード電極17の電位がカソード電極18の電位よりも高い電圧（順方向電圧）を印加すると、アノード電極17とカソード電極18との間に半導体基体16の厚み方向（縦方向）に順方向電流が流れる。このため、従来のサファイア基板を使用した発光ダイオードにおいて生じた水平方向に流れる電流成分が、図1のn形半導体領域13に生じない。また、アノード電極17が半導体基体16の上面のほぼ中央に配置されており、カソード電極18が半導体基体16の下面の全面に形成されているため、アノード電極17からカソード電極18に流れる電流の経路を半導体基体16の側面側にまで広げることができる。この結果、消費電力及び動作電圧を小さくすることが可能になる。

(3-4) バッファ層12に含まれているAlNから成る複数の第1の層12aがいずれも量子力学的なトンネル効果の生じる厚さに設定されているので、バッファ層12の抵抗の増大を抑えることができる。即ち、AlNから成る第1の層12aは絶縁性を有しているのも、これを厚く形成するとバッファ層12の抵抗が増大する。しかし、本実施例の青色発光ダイオードでは、AlNから成る複数の第1の層12aの厚みがいずれも量子力学的なトンネル効果の生じる厚みに設定されており、且つ第1の層12aが導電性を有するGaNから成る第2の層12bに隣接配置されているので、バッファ層12の抵抗を十分に小さくすることができる。この結果、消費電力及び動作抵抗を低くすることができる。

(4) 基板11とGaN半導体領域10との熱膨張係数差に起因する歪みの発生を抑制できる。即ち、シリコンの熱膨張係数とGaNの熱膨張係数とは大きく相違するため、両者を直接に積層すると熱膨張係数差に起因する歪みが発生し易い。しかし、本実施例の青色発光ダイオードでは、バッファ層12がGaNから成る第2の層12bとこれよりも熱膨張係数の小さいAlNから成る第1の層12aとの複合層から成るので、バッファ層12の熱膨張係数を基板11の熱膨張係数とGaN半導体領域10の熱膨張係数との中間の値にすることができる。このため、このバッファ層12によって基板11とGaN半導体領域10との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制することができる。

(5) 従来のサファイア基板を使用した発光素子に比べてカソード電極18の形成が容易になる。即ち、従来のサファイア基板を使用した発光素子の場合、図1及び図2のp形半導体領域15及び活性層14に相当するものの一部を除去してn形半導体領域13の一部を露出させ、この露出したn形半導体領域13にカソード電極を接続することが必要になった。このため、従来の発光素子は、カソード電極が形成しにくいという欠点、及び

カソード電極を形成するためにn形半導体領域の面積が大きくなるという欠点があった。図1及び図2の発光素子は上記欠点を有さない。

【0021】

【変形例】本発明は上述の実施形態に限定されるものでなく、例えば次の変形が可能なものである。

(1) 基板11を単結晶シリコン以外の多結晶シリコン又はSiC等のシリコン化合物とすることができる。

(2) 半導体基体16の各層の導電形を実施例と逆にすることができる。

(3) n形半導体領域13、活性層14及びp形半導体領域15のそれぞれを、複数の半導体領域の組み合わせで構成することができる。

【0022】

【産業上の利用の可能性】本発明によれば、抵抗及び電力損失の少ない発光ダイオード等の発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に従うの発光ダイオードを示す中央縦断面図である。

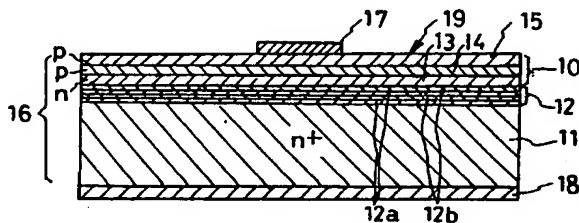
【図2】図1の発光ダイオードの斜視図である。

【図3】基板に半導体素子が形成された半導体装置を示す断面図である。

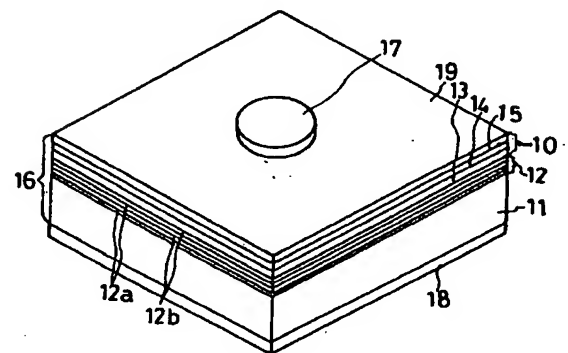
【符号の説明】

- 10 GaN系半導体領域
- 11 シリコン単結晶から成る基板
- 12 バッファ層
- 12a AlNから成る第1の層
- 12b GaNから成る第2の層
- 13 n形半導体領域
- 14 活性層
- 15 p形半導体領域
- 16 基体
- 18 アノード電極
- 19 カソード電極

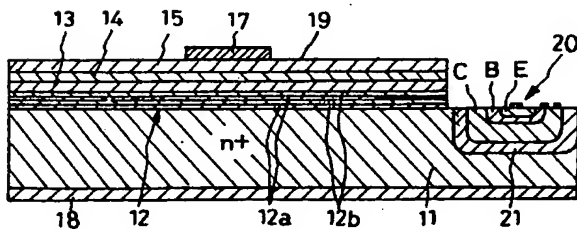
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 柳原 将貴
埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ
ン電気株式会社内

(72)発明者 菊池 正明
山梨県甲府市屋形3-3-1 サンマリー
ナ屋形203

Fターム(参考) 5F041 AA24 AA40 AA47 CA33 CA34
CA40 CA65